

Studi Penentuan Injeksi Surfaktan-Polimer Pada Lapangan X Dengan Temperatur 60°C

Falia Shafa Arrayya^{1*}, Erdila Indriani¹, Henk Subekti¹, Hestuti Eni²

¹Teknik Produksi Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada No.38 Cepu, Blora, Jawa Tengah 58315

²Chemical Flooding EOR, Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS, Jalan Ciledug Raya, Kavling 109 Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, Jakarta, 12230

ABSTRAK

Produksi minyak di Lapangan X mengalami penurunan signifikan, sehingga diperlukan penerapan teknologi lanjutan untuk meningkatkan efisiensi pemulihan minyak sisa di dalam reservoir. Salah satu metode yang efektif digunakan adalah *Enhanced Oil Recovery* (EOR) berbasis kimia, atau *Chemical Enhanced Oil Recovery* (CEOR), yang memanfaatkan kombinasi surfaktan dan polimer guna memperbaiki rasio mobilitas fluida serta menurunkan tegangan antarmuka antara minyak dan air. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan formulasi optimum surfaktan-polimer yang sesuai dengan karakteristik reservoir Lapangan X pada suhu 60°C melalui serangkaian pengujian yang meliputi densitas, *interfacial tension* (IFT), viskositas, dan kompatibilitas. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa larutan surfaktan tipe B menunjukkan nilai IFT optimum sebesar 1.925×10^{-3} dyne/cm pada konsentrasi 1%, yang merepresentasikan titik *critical micelle concentration* (CMC). Sementara itu, surfaktan tipe S menunjukkan nilai IFT yang relatif tinggi, berada pada kisaran 10^{-1} dyne/cm, sehingga tidak memenuhi kriteria untuk diaplikasikan dalam proses injeksi EOR. Pengujian lanjutan pada campuran surfaktan B dan polimer N (1000 ppm) menghasilkan performa terbaik pada konsentrasi 1%, dengan nilai viskositas sebesar 15,74 cP dan IFT sebesar 4.2898×10^{-3} dyne/cm. Kombinasi tersebut terbukti efektif dalam menurunkan tegangan antarmuka sekaligus menjaga kestabilan viskositas larutan pada kondisi reservoir, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi perolehan minyak dalam penerapan metode EOR di Lapangan X.

Kata kunci: *Enhanced Oil Recovery*, *Interfacial Tension*, Surfaktan-Polimer, Viskositas

 faliaarrayya@gmail.com

1. Pendahuluan

Produksi minyak pada lapangan X seiring berjalan waktu mengalami penurunan produksi yang cukup signifikan, untuk itu diperlukan suatu teknik agar minyak yang masih terdapat pada reservoir dapat diproduksi. Teknolo-

gi *Enhanced Oil Recovery* (EOR) merupakan salah satu metode lanjutan dalam meningkatkan perolehan minyak dari reservoir, khususnya setelah tahap produksi primer dan sekunder tidak lagi memberikan hasil yang optimal [1]. Penerapan EOR menjadi solusi strategis

dalam keberlanjutan produksi energi khususnya di industri minyak dan gas [2].

Salah satu teknik yang ada pada EOR yaitu *Chemical Enhanced Oil Recovery* (CEOR) [3]. Teknik ini memanfaatkan bahan kimia seperti surfaktan dan polimer untuk meningkatkan efisiensi penyapuan minyak yang masih terdapat pada reservoir. Surfaktan berfungsi untuk menurunkan tegangan antarmuka (*Interfacial Tension*/IFT) antara air dan minyak, yang menyebabkan minyak terperangkap pada pori batuan sehingga minyak lebih mudah terdorong secara optimal ke permukaan. Penurunan nilai IFT ini meningkatkan angka kapiler (*capillary number*), yang akan mempengaruhi mobilisasi minyak menjadi lebih efektif sehingga volume minyak yang diproduksi meningkat secara signifikan [4]. Selain surfaktan, terdapat polimer yang memiliki peran meningkatkan viskositas pada air injeksi, sehingga rasio mobilitas antara fluida injeksi dengan minyak dalam reservoir dapat dikurangi. Kombinasi antara surfaktan dan polimer dikenal dengan surfaktan polimer *flooding* (SP *flooding*) yang memiliki kemampuan untuk mengubah sifat kebasahan menjadi *water-wett* sehingga mempercepat proses perpindahan minyak menjadi lebih optimal [5].

Tujuan dari penelitian ini yaitu membandingkan injeksi optimal pada larutan surfaktan terhadap larutan surfaktan-polimer pada lapangan X dengan temperatur 60°C. Kajian ini berfokus pada pemilihan surfaktan dan polimer yang sesuai digunakan dengan kondisi lapangan x yang memiliki temperatur 60°C serta analisis pada pengaruh injeksi surfaktan dan polimer terhadap penurunan tegangan antarmuka IFT antara minyak dan air dan juga pada viskositas pada larutan injeksi [6].

Pengujian tahap lanjutan dilakukan untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif terhadap karakteristik larutan surfaktan melalui serangkaian evaluasi parameter utama, meliputi uji densitas, IFT, filtrasi, serta kompatibilitas. Setiap parameter pengujian memiliki tujuan dan kontribusi yang berbeda dalam menilai performa serta kestabilan larutan surfaktan yang akan digunakan pada proses EOR [7]. Uji densitas dilakukan untuk menentukan massa jenis larutan surfaktan yang

menjadi dasar dalam menilai sifat fisik larutan tersebut [8]. Parameter densitas memiliki peran-an penting karena berkaitan langsung dengan perilaku fluida saat injeksi berlangsung, khususnya terhadap distribusi fluida di dalam formasi batuan [9]. Hasil dari pengujian densitas ini juga digunakan sebagai data pendukung pada uji IFT, sehingga nilai densitas yang akurat membantu meningkatkan ketepatan hasil analisis tegangan antarmuka. Dengan demikian, pemahaman terhadap densitas larutan memberikan kontribusi signifikan terhadap perancangan dan pengendalian proses injeksi di lapangan.

Selanjutnya, pengujian *interfacial tension* bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan larutan surfaktan dalam menurunkan tegangan antarmuka antara fase minyak dan air. Penurunan nilai IFT merupakan faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi perolehan minyak, karena semakin rendah tegangan antarmuka maka semakin mudah minyak terlepas dari pori-pori batuan reservoir. Hal ini memungkinkan peningkatan mobilitas minyak sisa yang sebelumnya tidak terproduksi. Dalam tahap ini, larutan surfaktan diuji dalam berbagai variasi konsentrasi untuk menentukan konsentrasi optimum yang memberikan pengurangan tegangan antarmuka paling efektif [10]. Uji filtrasi dilakukan untuk menilai tingkat homogenitas dan kestabilan fisik larutan ketika mengalir melalui media berpori seperti batuan reservoir [11]. Tujuan utama dari pengujian ini adalah memastikan bahwa larutan surfaktan memiliki kemampuan untuk melewati pori-pori batuan tanpa menimbulkan penyumbatan yang dapat mengurangi permeabilitas formasi. Nilai filtrasi yang baik menunjukkan bahwa larutan memiliki dispersi partikel yang stabil dan tidak menimbulkan endapan padat yang berpotensi menghambat aliran fluida. Dengan demikian, hasil pengujian filtrasi menjadi indikator penting dalam menilai kelayakan larutan untuk diinjeksikan ke dalam formasi bawah permukaan [12].

Selain itu, uji kompatibilitas dilakukan untuk menilai kestabilan kimia larutan surfaktan dan polimer ketika berinteraksi dengan air formasi maupun mineral lainnya sebagai penyusun batuan reservoir [13]. Pengujian ini penting untuk memastikan tidak terjadi reaksi kimia yang merugikan, seperti pengendapan, flokulasi,

atau degradasi zat aktif yang dapat menurunkan efektivitas larutan selama proses injeksi. Kestabilan yang baik menunjukkan bahwa larutan tetap mempertahankan sifat fisik dan kimianya dalam kondisi reservoir yang kompleks. Oleh karena itu, uji kompatibilitas menjadi parameter krusial dalam menjamin keberhasilan proses EOR, terutama dalam konteks penerapan metode injeksi surfaktan-polimer di lapangan [14].

Secara keseluruhan, seluruh rangkaian pengujian ini memiliki peran yang saling melengkapi untuk menilai karakteristik, kestabilan, dan efektivitas larutan surfaktan-polimer. Hasil dari masing-masing pengujian tidak hanya memberikan pemahaman empiris terhadap perilaku larutan di bawah kondisi reservoir, tetapi juga menjadi dasar dalam menentukan formulasi dan strategi injeksi yang paling efisien untuk meningkatkan perolehan minyak secara berkelanjutan dalam penerapan metode *Enhanced Oil Recovery*.

2. Material dan Metode

Pada bagian ini merupakan langkah awal untuk menjelaskan prosedur pelaksanaan yang akan dilakukan selama pengujian serta mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan sebagai penunjang saat penelitian ini berlangsung [15].

2.1 Material

Alat yang digunakan seperti, gelas *beaker*, timbangan digital, *stirrer* magnetik, pipet tetes, kertas parafilm, botol sampel tertutup (sebagai wadah untuk menyimpan larutan). Peralatan

tersebut digunakan untuk proses penimbangan, pelarutan, pengadukan, dan pengukuran parameter larutan, sehingga larutan menjadi homogen dan sesuai dengan kebutuhan penelitian. Bahan yang digunakan yaitu, surfaktan (jenis B dan S), polimer N, dengan pelarut air formasi lapangan X dengan salinitas 10.000 ppm [16].

Setelah alat dan bahan disiapkan, langkah selanjutnya adalah membuat larutan surfaktan. Larutan surfaktan terdiri dari air sintetik dan surfaktan. Surfaktan yang akan digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu surfaktan B dan surfaktan S, dan air formasi Lapangan X. Larutan surfaktan ini menggunakan surfaktan sebagai zat terlarut dan air formasi Lapangan X sebagai pelarut utama. Air sintetik lapangan X diperoleh dari beberapa kandungan kimia seperti NaCl, CaCl₂, MgCl₂, CaCl₂, NaHCO₃, Na₂SO₄·10H₂O, Na₂CO₃·10H₂O, yang mana berat dari komposisi kimia sudah disesuaikan dengan kondisi lapangan X.

2.2 Metode

2.2.1 Larutan Surfaktan

Larutan surfaktan S dan B, dibuat dengan variasi 5 konsentrasi yaitu 0,1%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%. Dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Massa Surfaktan (g)} = \text{Konsentrasi Surfaktan (\%)} \times \text{Massa Larutan (g)} \quad (1)$$

$$\text{Massa Air Formasi} = \text{Massa larutan} - \text{Massa surfaktan} \quad (2)$$

Tabel 1. Komposisi dari larutan surfaktan B dan S + Air lapangan (AS) X

No	Variasi Konsentrasi (%)	Surfaktan (ml)	Air Formasi / Sintetik (ml)
1	0,1 %	0,02	19,98
2	0,5 %	0,1	19,9
3	1 %	0,2	19,8
4	1,5 %	0,3	19,7
5	2 %	0,4	19,6

2.2.2 Pengujian Densitas

Densitas pada larutan surfaktan diuji dengan berbagai konsentrasi dengan temperatur yang disesuaikan dengan kondisi reservoir. Sampel larutan akan dimasukkan kedalam *densityme-*

ter sebanyak 1-3 ml, selanjutnya tunggu hingga alat menampilkan hasil densitas dari sampel larutan yang diuji.

2.2.3 Pengujian *Interfacial Tension* (IFT)

Pengujian IFT dilakukan dengan menggunakan larutan surfaktan serta *crude oil* dari lapangan X, dengan metode *spinning drop*. Sampel dimasukkan kedalam tabung kapiler hingga terisi penuh, kemudian tetes sedikit *crude oil* sekitar 0.2 μL . Dan masukkan tabung pada alat *spinning drop* pada kecepatan 6000 rpm. Pengukuran dilakukan minimal 30 menit sampai memperoleh nilai IFT yang stabil.

2.2.4 Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan pada larutan surfaktan-polimer menggunakan viskometer dengan temperatur yang disesuaikan dengan kondisi reservoir lapangan X. Alat dioperasikan sesuai prosedur standar, lalu nilai viskositas dicatat setelah pembacaan alat menunjukkan kondisi stabil.

3. Pembahasan

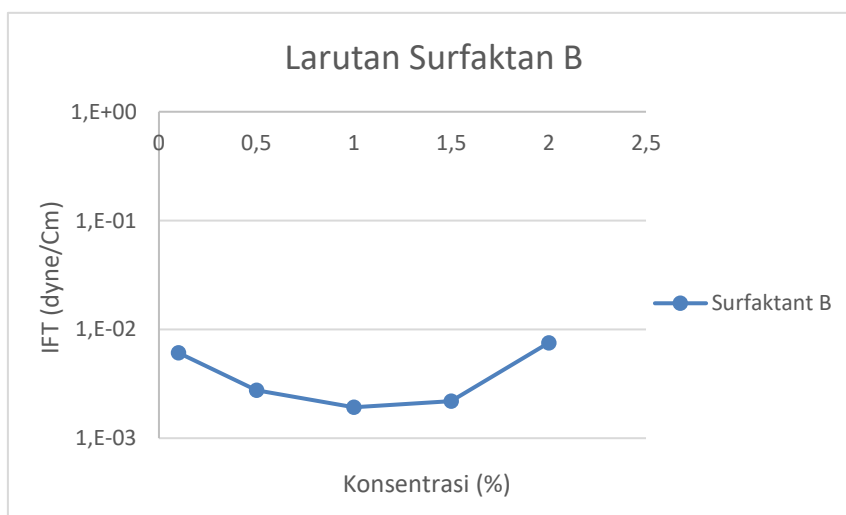
Di bawah ini merupakan Tabel 2 yang menyajikan hasil pengukuran nilai interfacial tension,

densitas, dan kompatibilitas dari larutan surfaktan B. Larutan surfaktan terdiri dari 5 konsentrasi 0,1%–2 %. Setiap konsentrasi memiliki nilai *interfacial tension*, densitas, serta kompatibilitas pada larutan tersebut.

Dapat dilihat pada Gambar 1 bahwa larutan surfaktan B memiliki nilai *interfacial tension* (IFT) yang memenuhi syarat, yaitu pada kisaran 10^{-3} dyne/cm, di mana nilai terendah sebesar 2×10^{-3} dyne/cm berada pada konsentrasi 1% yang merupakan titik *critical micelle concentration* (CMC). Titik CMC merupakan konsentrasi minimum surfaktan dalam larutan saat molekul surfaktan mulai beragregasi membentuk misel, setelah konsentrasi melampaui CMC, penambahan surfaktan tidak menurunkan lagi tegangan antarmuka secara signifikan, karena surfaktan tambahan akan langsung membentuk misel. Oleh karena itu, titik CMC menjadi parameter penting dalam penentuan efisiensi penggunaan larutan surfaktan dalam pengaplikasian *Enhanced Oil Recovery*.

Tabel 2. Hasil Larutan Surfaktan B

Konsentrasi (%)	IFT (Dyne/cm)	Density (g/cm ³)	Kompatibilitas
0,1 %	6.086E-03	0,99204	Light Hazy
0,5 %	2.759E-03	0,9922	Hazy
1 %	1.925E-03	0,99242	Hazy
1,5 %	2.184E-03	0,99247	Hazy
2 %	7.510E-03	0,99266	Hazy



Gambar 1. Grafik Konsentrasi vs IFT

Di bawah ini merupakan Tabel 3 yang menyajikan hasil pengukuran nilai IFT, densitas, dan

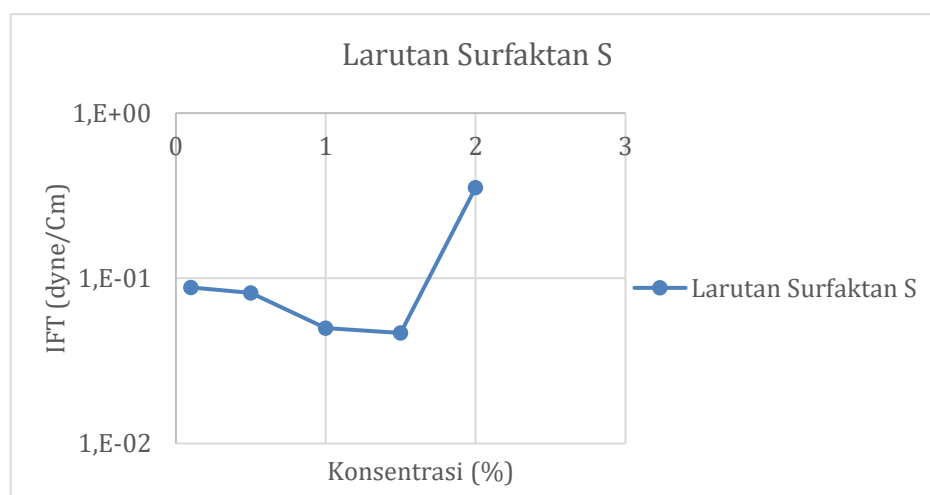
kompatibilitas dari larutan surfaktan S. Larutan surfaktan terdiri dari 5 konsentrasi 0,1%

– 2%; setiap konsentrasi masing-masing memiliki nilai IFT, densitas, serta kompatibilitas pada larutan tersebut. Pada larutan surfaktan S, dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa larutan S memiliki nilai tegangan antar-

muka pada kisaran 10^{-1} dyne/cm. Yang mana pada nilai $10^{-1} - 10^{-2}$ dyne/cm ini masih cukup tinggi sehingga larutan S ini tidak memenuhi syarat sebagai larutan *chemical* dalam penerapan *Enhanced Oil Recovery*.

Tabel 3. Hasil Larutan Surfaktan S

Konsentrasi (%)	IFT (Dyne/cm)	Density (g/cm ³)	Kompatibilitas
0,1 %	8.791E-02	0.93966	Clear
0,5 %	8.169E-02	0,99242	Clear
1 %	4.987E-02	0,9927	Clear
1,5 %	4.668E-02	0,992939	Clear
2 %	3.539E-01	0,99248	Clear



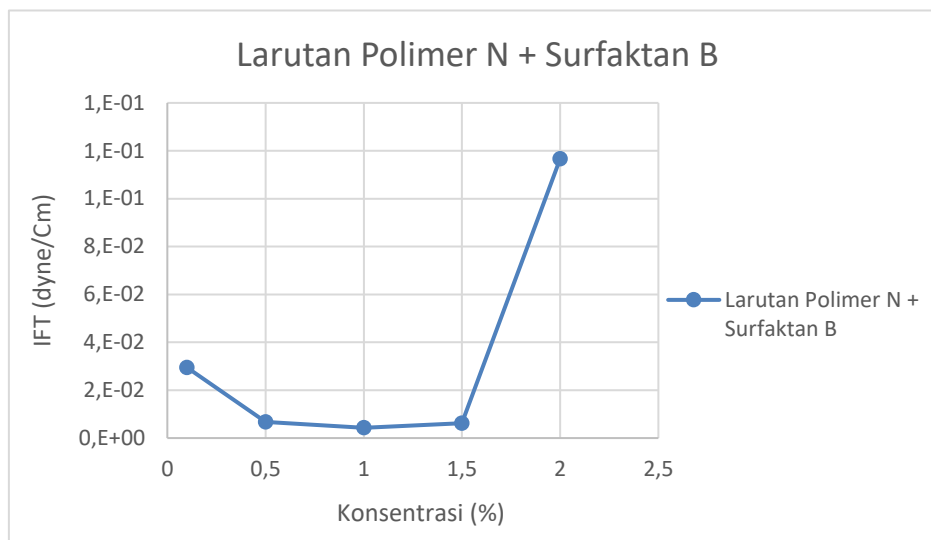
Gambar 2. Grafik Konsentrasi vs IFT

Berdasarkan hasil pengukuran IFT yang dilakukan pada kedua larutan yaitu larutan surfaktan B dan larutan surfaktan S diatas, maka surfaktan B terpilih untuk dilanjutkan ke tahapan pengujian *screening* selanjutnya yaitu pengujian surfaktan-polimer. Pada uji ini, surfaktan akan dicampurkan dengan polimer un-

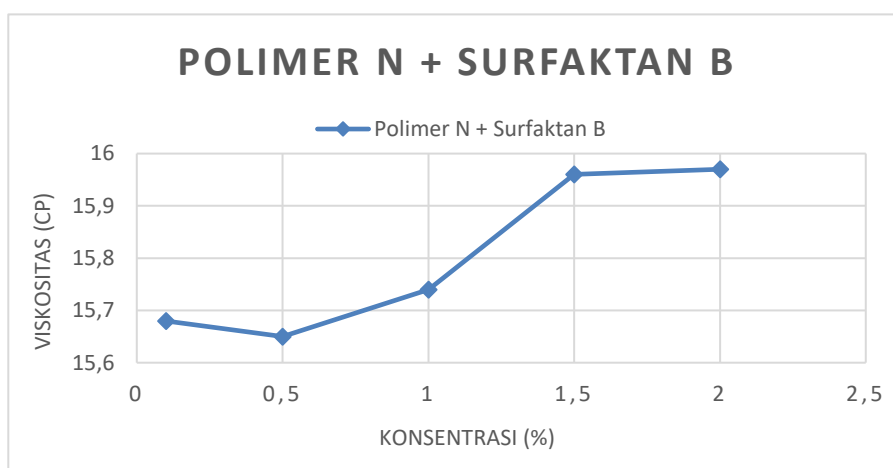
tuk dilakukan pengujian nilai tegangan antar-muka dan viskositas pada larutan tersebut. Pengujian ini menggunakan polimer dengan jenis N dan surfaktan yang digunakan merupakan surfaktan B hasil dari uji *screening* sebelumnya.

Tabel 4. Hasil Larutan Polimer N + Surfaktan B

Konsentrasi (%)	IFT (dyne/cm)	Density (g/cm ³)	Viskositas (cP)
0,1%	2.947E-02	0.99571	15.68
0,5%	6.768E-03	0.99598	15.65
1%	4.290E-03	0.99585	15.74
1,5%	6.220E-03	0.99532	15.96
2%	1.167E-01	0.99624	15.97



Gambar 3. Grafik Konsentrasi vs IFT Polimer N dan Surfaktan B



Gambar 4. Grafik Besaran Konsentrasi terhadap Viskositas Larutan

Pada larutan Polimer N + Surfaktan B terdiri dari 5 konsentrasi yaitu 0,1%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai tegangan antarmuka terendah berada pada konsentrasi 1% yaitu sebesar $4,29 \times 10^{-3}$ dyne/cm. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi 1% larutan telah mencapai titik CMC yang merupakan konsentrasi minimum surfaktan dalam larutan ketika molekul surfaktan mulai berasosiasi membentuk misel. Setelah konsentrasi melebihi nilai CMC maka penurunan tegangan antarmuka tidak lagi signifikan karena surfaktan tambahan akan langsung teragregasi membentuk misel. Sedangkan pada nilai viskositas larutan ini, memiliki nilai yang tidak jauh berbeda karena semua meng-

gunakan Polimer N yang memiliki konsentrasi di 1000 ppm.

4. Simpulan

Berdasarkan uji *screening* dari larutan surfaktan B memenuhi persyaratan sebagai *chemical* yang digunakan dalam EOR yaitu nilai dengan kisaran 10^{-3} dyne/cm dengan titik CMC pada konsentrasi 1% dengan nilai IFT sebesar $1,925 \times 10^{-3}$ dyne/cm. Sedangkan, pada surfaktan S tidak memenuhi persyaratan karena memiliki nilai tegangan antarmuka yang tinggi yaitu di kisaran 10^{-1} dyne/cm. Oleh karena itu, dipilih surfaktan B untuk dilanjutkan dengan uji *screening* surfaktan-polimer. Selanjutnya, surfaktan B dilakukan uji *screening* dengan pe-

nambahan polimer N pada konsentrasi 1000 ppm. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai optimum dicapai pada konsentrasi 1% dengan nilai $4,29 \times 10^{-3}$ dyne/cm dan nilai viskositas sebesar 15.74 cP.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Rahman, F.A. Happy, S. Ahmed, dan M.E. Hossain, "Development of Scaling Criteria for Enhanced Oil Recovery: A review," *J. Pet.Sci.Eng.*, vol.158, hal.66-79, Nov.2017.
- [2] B.P. Putra, and B. F. T. Kiono "Mengenal Enhanced Oil Recovery (EOR) Sebagai Solusi Meningkatkan Produksi Minyak Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol.2, no.2, pp. 84-100, Jul.2021.
- [3] G. K. Pothula, R. K. Vij, dan A. Bera, "An overview of chemical enhanced oil recovery and its status in India," *Petroleum Science*, vol. 20, no. 4, pp. 2305–2323, 2023.
- [4] Ogrindo ITB, "Enhanced Oil Recovery (EOR)," 2025.
- [5] L. Tao et al., "Investigation on EOR by composite surfactant-polymer (SP)," 2025. A. Bashir et al., "A review of fluid displacement mechanisms in surfactant flooding," 2022.
- [6] M. E. Ahmed, et al., "Optimization of surfactant-polymer flooding for enhanced oil recovery," *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 2023.
- [7] I. F. Sakinah, "Karakteristik Surfaktan Pada Proses Perolehan Minyak Dari Air Form," Skripsi S1, Fakultas Sains dan Teknologi (FST), UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Indonesia, 2019.
- [8] O. Massarweh and A. S. Abushaikha, "Application of surfactants in enhancing oil recovery from tight carbonates: Physicochemical properties and core flooding experiments," *Geonergy Science and Engineering*, vol. 221, p. 211400, 2023.
- [9] O. Olabode et al., "Experimental Investigation of the Effect of Surfactant–Polymer Concentrations on EOR Performance," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, pp. 1-12, Jun. 2024.
- [10] M. S. Numin et al., "Interfacial tension reduction mechanism by alkaline–surfactant–polymer flooding," *Fuel*, vol. 327, Jan. 2022.
- [11] N. Hadianizadeh, A. Saeedi, and Q. Xie, "Most common surfactants employed in chemical enhanced oil recovery," *Petroleum*, vol. 3, no. 2, pp. 197-211, Jun. 2017,
- [12] O. Massarweh, "The use of surfactants in enhanced oil recovery: A review," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 190, p. 107043, 2020.
- [13] D. Farkhatu Solikha, "PreScreening Surfaktan untuk Injeksi Chemical EOR di Lapangan X", gw, vol. 12, no. 1, pp. 95–109, May 2021.
- [14] S.Z. Mahdavi et al., "Study of polyacrylamide-surfactant system on the water–oil interface properties and rheological properties for EOR," *Arabian Journal of Chemistry*, 2016.
- [15] Sugiyono, Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D, Bandung: Alfabeta, 2017.
- [16] Q. Lu, Y. Li, W. Li, S. Zhou, and Y. Zhou, "Steady Shear Rheology and Surface Activity of Polymer-Surfactant Systems," *Polymers*, vol. 17, no. 1, 2025.